

## マルチロボット開発・管理システムに関する研究

著者	藤田 豊己
号	1891
発行年	1996
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/7164">http://hdl.handle.net/10097/7164</a>

氏 名	藤田 豊己		
授 与 学 位	博士 (工学)		
学位授与年月日	平成9年3月25日		
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項		
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学第二専攻		
学位論文題目	マルチロボット開発・管理システムに関する研究		
指 導 教 官	東北大学教授 中野 栄二		
論文審査委員	主査 東北大学教授 中野 栄二	東北大学教授 中村 維男	
	東北大学教授 白鳥 則郎	東北大学教授 内山 勝	

## 論文内容要旨

近年, ロボットに対して, 原子炉内や宇宙空間での作業, 自然環境における災害の復旧作業などの, より複雑な作業, 汎用的な作業が要求されている。これらの作業の具体的な内容は広大な環境探索や, 巨大な瓦礫, 岩石などの持ち上げ, 運搬などが考えられる。これらの作業においては, その対象物はロボットよりも大きく, 一台で持ち上げや運搬を行うことが困難なことが多い。その場合, 複数台で協調して作業することが必要になる。また, 環境探索などは複数のロボットにより分担して行う方が効率が良い。このような作業は環境や状況によって複雑化するため, 現在のロボットの自律性を考えたとき, 全ての作業をロボットのみで自律的に遂行することは困難であり, 人間がそれらのシステムを開発・管理していく必要がある。そこで人間によりいかにそのようなシステムを構成していけばよいかというのが非常に重要な問題になる。また, ロボットに様々な条件下で種々の作業を行わせるためには, そのシステムはより拡張性のある, 汎用的なものでなければならない。本研究の目的は, 「人間によって開発・管理されるマルチロボットシステムにおいて, 拡張性と汎用性を持つシステムを実現すること。」である。

これまでも幾つかのマルチロボットのシステムが開発されているが, 従来のシステムのそのほとんどがマルチシステムに固有の協調問題を解決することを目的としており, そのシステムとして主に次の問題点があった。

1. 衝突回避などの単純な協調問題のみを扱っていたので, システムは従来の単体ロボットに簡単な通信機能を付加するのみである。
2. 物体の運搬等の場合, 各ロボットの自律性が高く, 自律的に協調しあうという前提の下に, 通信は特定の内容に関してしか考えられていない。

これらのシステムを拡張する場合, 新たな通信の設定などが必要になるため, システムはより複雑化し, 管理がますます困難になるため, 拡張性と汎用性に乏しいものとなって

いた。本論文では第1章にてこれらの背景、本研究の目的、従来のシステムの問題点についてまとめている。

そして、第2章において、本研究で目的とする拡張性と汎用性のあるシステムを実現するために、以下を行う新たなシステムの構成の方法を提案している。

- (a) 通信と実行のメカニズムを統一する
- (b) システムを積極的に柔軟に再構成する
- (c) システム内の全ての要素のデータ表現形式を統一する
- (d) システム内の全ての要素の実行形式を統一する

システムが、拡張性、汎用性をもつためには、拡張に伴うシステムの複雑さをできるだけ抑える必要がある。(a)を行うことにより、マルチロボットシステムと単体ロボットシステムの構成を同一概念で扱うことができる。

また、システムは、人間による開発・管理を容易にするために開発、動作の検証、デバッグ、修正のサイクルが効果的に行われなければならない。そしてロボットの認識、判断、運動の機能の中のある機能を修正したとき、その影響は他の機能にも及び、またそれはプリミティブな制御の低レベルの部分から知的な高レベルにまで及ぶ。従来のシステムの多くは、各機能について低レベルなものから順に作成した後それらを固定し、高レベルなものを積み上げていったが、それらは全て修正必要なものであり、むしろ、ある機能の追加にともなって他の機能も積極的に変更することにより、ロボットにより効果的な、洗練した行動をとらせることができると考えている。このことが(b)の再構成である。

そして、システム全体ではロボット間で相互に依存しあうため、効果的な作業のために再構成を行う必要があるが、ロボット内と、システム全体の再構成を同一の手法で行うことができればシステムの複雑化を抑えることができる。(c),(d)を行うことにより、ロボットの機能、システム内のロボットが同一の表現形式を持ち、同一の実行形式をもつことができるのでそれが可能になる。

本研究では、以上に提案した方法に基づき、システムに必要な機能を列挙し、それらを満たすためのシステムを構築した。

まず、第3章では、このシステムを構成するために重要なソフトウェア開発モデルについて論じている。ソフトウェア開発モデルとは、単なるプログラミング言語のみならず、ユーザインタフェース、開発・管理ツールも含めた統合ソフトウェアを意味する。本研究では、オブジェクト指向言語である Smalltalk をベースとしており、その理由はオブジェクト指向の概念が本研究の目的とするシステムに効果的であり、Smalltalk はその中でも特に優れた均一性、一貫性のあるソフトウェアであるからである。そのため、高度なモジュール性や、知識、モデル、情報についての統一された概念を持つことができ、人間によって開発・管理されるマルチロボットシステムにおいて、本研究で目標とするようなロボットの自律的作業を可能とする拡張性を持ち、さまざまな作業実現に向けての汎用性を持つシステムを実現するためには非常に都合が良い。

そして、本研究では、この Smalltalk をマルチ実行環境に対応するように Smalltalk パー

チャルマシンを拡張し、本システムのベースシステムとした。第4章では、この内容について述べている。本研究で拡張してバーチャルマシンは従来の Smalltalk のそれとは異なり、マルチプロセッサのカーネルの並列処理機能を利用し、マルチプロセス実行を高速に実現している。また、各 CPU につき、それぞれの Smalltalk バーチャルマシンが実行されシステム内の分散環境を実現している。クラスやメソッドなどのシステムを形成するオブジェクトはグローバルオブジェクトとして共有され、それらのオブジェクトの内容はシステム内で矛盾の無いようにルートのバーチャルマシンにて管理されている。

次に、その拡張したバーチャルマシンをベースとし、本研究の目的とするロボットシステムとするために Smalltalk のソフトウェアを構築していった。第5章では、この内容について詳しく述べている。本ロボットシステムのソフトウェアはロボット制御に関する基本的なレベルから複雑な動作や行動決定のレベルまで、全て Smalltalk の言語形式で統一して記述されている。すなわち、それによりシステムの一貫性をもたらすことができ、本システムの大きな特長となっている。さらに、本システムに必要な機能を満たすために有用となるロボット用のツールも開発した。具体的には、マルチプロセスを管理するツール、ロボットや各部位の並列動作の協調を管理するツール、ロボット間にて行われる通信の内容を調査、解析するツールなどである。これらのツールは、他のシステムでは作成が容易であるとは決して言い難いが、本システムでは、システムの一貫性の概念によりそれが容易となり、さらに、目的に応じての種々のツールの開発も容易に行うことができる。この点も本システムの大きな利点である。

第6章では、本システムを実際に6足作業ロボットに適用し、実験を行った際の具体的内容について述べている。そして、実際に各ロボットの基本動作や基本作業を確認し、2台のロボットによる対象物の持ち上げの協調作業を実現することができた。

第7章では、提案したコンセプトに基づき、本システムをマルチロボットに適用した内容と、これによるマルチロボット協調持ち上げ作業への適用結果に対する考察と評価を行った。その結果、システムに必要な各機能がほぼ満足されていることを確認し、本システムが開発・管理が容易で拡張性や汎用性も兼ね備えたシステムであるということを検証した。また、それとともに、将来への展望についても述べている。

第8章では、結論を述べている。本研究ではマルチロボットによる協調作業に典型的に見られるような、力学的相互作用を伴うような密な協調に対する考慮がなされ、人間による開発・管理が不可欠なマルチロボットシステムにおいて、それらが容易となり、さらにロボットの自律化のための拡張性と汎用性に対する考慮がなされたシステムの構成方法を提案し、実際にこれを個別ロボット、並びに複数ロボットによる対象物持ち上げ協調作業に適用し、その有効性を確認した。

以上より本システムはマルチロボットにとって有益なシステムであり、ロボット工学の発展に寄与するところが少なくないとの結論を得た。

## 審査結果の要旨

本研究の目的は、人間によって開発・管理されるマルチロボットシステムにおいて、ロボットの自律的作業を可能とする拡張性を持ち、さまざまな作業実現に向けての汎用性を持つシステムを実現するために、高度なモジュール性や、知識、モデル、情報についての統一された概念を持つ、マルチロボット開発・管理システムを開発することである。

本論文では、力学的相互作用を伴うような密な協調に対する考慮がなされ、ソフトウェアの記述方式がロボット制御の各レベルにおいて一貫しており、ロボットの自律化のための拡張性に対する考慮がなされたマルチロボット開発・管理システムを提案し、実際にこれを個別ロボットの制御システム、並びに複数ロボットによる対象物持ち上げ作業に適用し、その有効性を確認した結果について述べたもので、全編8章よりなる。

第1章は序論であり、研究の背景、本研究の目的について述べ、従来のロボットシステム及びマルチロボットシステムの問題点について論じている。

第2章では、第1章において検討した問題点を解決するための、システムの構成の方法を提案している。

第3章では、本研究で提案する、単なるプログラミング言語のみならず、ユーザインタフェース、開発・管理ツールも含めた統合ソフトウェアからなるソフトウェア開発モデルの概念と、目標とする開発・管理システムの概要について述べている。これらの概念は、次章、次々章と並んで、斬新な発想に基づくものであり、マルチロボット開発・管理システムにきわめて有効な概念を示すものとして、高く評価される。

第4章・第5章では、本研究においてベースシステムとして用いたオブジェクト指向言語

Smalltalk の特徴と概念、開発・管理ツールなどについて述べるとともに、本研究では当面、その基本部分のみを利用することとした理由、並びに、本研究において実際に構築していったシステムについて述べている。

第6章では、本システムを複数の6足作業ロボットに適用した際の具体的内容について述べている。

第7章では、提案したコンセプトに基づき、本システムをマルチロボットに適用した内容と、これによるマルチロボット協調持ち上げ作業への適用結果に対する考察と評価を行うとともに、将来への展望について述べている。

第8章では、結論を述べている。

以上要するに本論文は、マルチロボットによる協調作業に典型的に見られるような、力学的相互作用を伴うような密な協調に対する考慮がなされ、ソフトウェアの記述方式がロボット制御の各レベルにおいて一貫しており、ロボットの自律化のための拡張性と汎用性に対する考慮がなされたマルチロボット開発・管理システムを提案し、実際にこれを個別ロボット、並びに複数ロボットによる対象物持ち上げ作業に適用し、その有効性を確認した結果について述べたもので、ロボット工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。